The background features a stylized globe with a grid of latitude and longitude lines. A large, semi-transparent silhouette of a tree is overlaid on the globe, with its branches extending across the grid. The globe is centered in the upper half of the page.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

# **Geoinformática aplicada a la generación de cartografías temáticas**

**Clima, recursos hídricos, vulnerabilidad  
social y deforestación**

Luis Carlos Bravo Peña  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
(Coordinadores)

DR © Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo  
(por coordinación)

© Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Avenida Plutarco Elías Calles 1210  
Fovissste Chamizal, CP 32310  
Ciudad Juárez, Chihuahua, México  
Tels. +52 (656) 688 2100 al 09

---

Geoinformática aplicada a la generación de cartografías temáticas: clima, recursos hídricos, vulnerabilidad social y deforestación / Coordinadores Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo.-- Ciudad Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2019.

184 páginas.

ISBN: 978-607-520-354-6

Contenido: Introducción.-- Cartografías de variables climáticas de la región central de Chihuahua: una serie temporal 2000-2011 de las estaciones climatológicas de Unifrut / Ana Karen García Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Luis Carlos Bravo Peña, Lara Cecilia Wiebe Quintana.-- Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable mediante Sistemas de Información Geográfica en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: recomendaciones / Yadira Iveth Ibarra Pérez, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Mario Iván Uc Campos, Luis Carlos Bravo Peña.-- Dinámica del crecimiento del área de inundación de la Laguna de Bustillos utilizando imágenes landsat para el año 2013 / Heber Javier García Cortés, Lara Cecilia Wiebe Quintana, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Hugo Luis Rojas Villalobos, María Elena Torres Olave.-- Prospección de indicadores de respuesta frente al abatimiento del acuífero, una exploración entre menonitas y mestizos de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua / Jessica Iveth Cera Campos, Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Ramón Leopoldo Moreno Murrieta, María Elena Torres Olave.-- Predicción de áreas susceptibles a deforestación del suroeste de Chihuahua, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de regresión lineal múltiple / Héctor Obed Castro Beltrán, Luis Carlos Bravo Peña, María Elena Torres Olave, Lara Cecilia Wiebe Quintana.

Estaciones climatológicas – 2000 -2011 - Chihuahua.

Red de agua potable - Diagnóstico (SIG) - Cuauhtémoc, Chihuahua.

Laguna de Bustillos - Precipitación pluvial.

Recursos hídricos (Indicadores) — Cuauhtémoc, Chihuahua.

Deforestación - Chihuahua - Sistemas de Información Geográfica

HD1696.M6 G46 2019

---

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo a cargo de la Dirección General de Comunicación Universitaria, a través de la Subdirección de Editorial y Publicaciones

*Coordinación editorial:*

Mayola Renova González

*Cuidado editorial:*

Subdirección de Editorial y Publicaciones

*Diseño de portada y diagramación:*

Karla María Rascón

Primera edición, 2019

elibros.uacj.mx



# Contenido

## Introducción 7

### Cartografías de variables climáticas de la región central de Chihuahua: una serie temporal 2000-2011 de las estaciones climatológicas de Unifrut

Ana Karen García Peña  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
Luis Carlos Bravo Peña  
Lara Cecilia Wiebe Quintana 9

### Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable mediante Sistemas de Información Geográfica en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: recomendaciones

Yadira Iveth Ibarra Pérez  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
Mario Iván Uc Campos  
Luis Carlos Bravo Peña 33

### Dinámica del crecimiento del área de inundación de la Laguna de Bustillos utilizando imágenes landsat para el año 2013

Heber Javier García Cortés  
Lara Cecilia Wiebe Quintana  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
Hugo Luis Rojas Villalobos  
María Elena Torres Olave 71

### Prospección de indicadores de respuesta frente al abatimiento del acuífero, una exploración entre menonitas y mestizos de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Jessica Iveth Cera Campos  
Luis Carlos Bravo Peña  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
Ramón Leopoldo Moreno Murrieta  
María Elena Torres Olave 101

### Predicción de áreas susceptibles a deforestación del suroeste de Chihuahua, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de regresión lineal múltiple

Héctor Obed Castro Beltrán  
Luis Carlos Bravo Peña  
María Elena Torres Olave  
Lara Cecilia Wiebe Quintana 143

# Prospección de indicadores de respuesta frente al abatimiento del acuífero, una exploración entre menonitas y mestizos de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Jessica Iveth Cera Campos  
Luis Carlos Bravo Peña  
Luis Carlos Alatorre Cejudo  
Ramón Leopoldo Moreno Murrieta  
María Elena Torres Olave

## Resumen

En el estado de Chihuahua se han registrado periodos prolongados de escasez de agua desde el año 2003. Una de las regiones más afectadas es el municipio de Cuauhtémoc, en el centro del territorio estatal. Este destaca nacionalmente por su producción agrícola y es habitado por menonitas y mestizos, quienes tienen diferentes habilidades de producción y maneras de trabajar la tierra. Ambos grupos sociales han enfrentado la escasez de agua con estrategias defensivas que tienen un trasfondo cultural y que revelan formas distintas de construir el paisaje. Dichas formas deben considerarse para la gestión adecuada de los recursos hídricos, por ello el objetivo de este trabajo fue generar una cartografía del espacio agrícola construido por estos grupos sociales, para identificar sus condiciones de vulnerabilidad frente a la escasez de agua. El método para elaborar esta cartografía fue mapear y medir rasgos territoriales, vinculados con: las condiciones del

medio físico, la presión ejercida sobre los recursos hídricos y el balance entre estos factores. Los resultados generados sugieren que el espacio construido por ambos grupos refleja sus condiciones de vulnerabilidad a la escasez de agua, por lo que algunos indicadores aquí utilizados pueden enriquecer la construcción de cartografías para medir este rasgo social.

*Palabras clave:* escasez de agua, cartografía, vulnerabilidad, recursos hídricos.

### **Abstract**

Chihuahua state has suffered prolonged periods of water shortage since year 2003. One of the most affected regions is Cuauhtémoc municipality, located in the central region of the state. This town stands out nationally for its agricultural production, and it's populated by Mennonites and mestizos, with different agricultural production skills and ways of working the land. Both social groups have faced water shortages defensive strategies that have a cultural background, and that reveal different ways to build the landscape. Such forms should be considered for the proper management of water resources, so that the objective of this work was to generate a map of the agricultural space built by these social groups, to identify their conditions into the vulnerability to water scarcity. This mapping was derived from measurable territorial features, related to: the conditions of the physical environment, the pressure on water resources, and the existing balance between these factors. The generated results suggest that the space built by the two groups reflects their conditions of vulnerability to water scarcity. So, some of the indicators used herein, can enhance the construction of maps to measure this social trait.

*Keywords:* water scarcity, mapping, vulnerability, hydric resources.

## Introducción

La escasez de agua es un fenómeno natural y complejo que afecta a gran cantidad de personas. Se caracteriza principalmente porque su extensión se da de manera irregular a través del tiempo y el espacio, y sus fenómenos son acumulativos, es decir, pueden permanecer aun después de la culminación del evento (Wilhite, 2000). Este fenómeno se ha presentado con mayor frecuencia en las últimas décadas, sobre todo en aquellas zonas que, por la combinación de distintos factores de tipo natural y antropogénico, se muestran susceptibles, afectando a los sistemas presentes. Tal es el caso del estado de Chihuahua, que en la actualidad padece una de las peores crisis de disponibilidad de agua, fenómeno causado por la combinación de distintos elementos, lo que ha situado al acervo del recurso hídrico (superficial y subterráneo) en una situación alarmante, conllevando de forma natural a una serie de problemas socioeconómicos (Reyes et al., 2009).

Esto se sustenta con la información capturada de 1993 a 2004, donde se observa claramente cómo la precipitación presenta una disminución, llegando incluso a exhibir valores menores al promedio histórico, dejando al estado en una situación vulnerable (Wilhite, 2000; Semarnat, 2011). Además de ello, la acumulación de estragos inducidos por la falta del agua, provocó en el año 2011 que la superficie sembrada se redujera prácticamente a la mitad por causas del desfase de las lluvias estivales, situación agravada por la insistencia de seguir utilizando tierras de bajo potencial productivo o de productividad marginal (Giner et al., 2011).

Uno de los municipios que ha sufrido más afectaciones en el estado, es Cuauhtémoc, ubicado en el centro de la entidad, pues gran parte de los recursos ganaderos y agrícolas del territorio municipal se han visto afectados por la escasez de agua. Esta situación empeora por la elevada dependencia de los recursos hídricos del subsuelo que caracteriza a las distintas prácticas humanas que se realizan en el municipio, desde las actividades productivas hasta el consumo humano directo (Díaz et al., 2014).

Este municipio, además, se distingue por su numerosa población menonita, contando con 30 800 pobladores en 86 campos, de los cuales 17 900 son mujeres y 12 900 son hombres (Gobierno del Estado, 2011). Este grupo social, llegado a la zona en 1927 (Castro, 1999), se caracteriza por contar con vastos conocimientos de las actividades agrícolas (Islas et al., 2015), producto de una estrecha relación que han mantenido con la explotación de la tierra durante siglos.

El trabajo y la disciplina de los menonitas les han permitido transformar zonas rústicas en productivos paisajes agrícolas, en particular a partir de la adopción de modalidades tecnológicas como el riego y la fertilización (Ochoa et al., 2005). Además de los pobladores menonitas, una fracción importante de la comunidad mestiza también se dedica a la agricultura, pero existen diferencias culturales importantes entre unos productores y otros, por lo que sus formas de enfrentar la escasez de agua también parecen distintas. No todos se ven igualmente afectados frente al abatimiento del acuífero, por ejemplo, siendo los menonitas quienes, considerando el crecimiento de sus huertas de manzana, parecen los menos afectados (Chávez et al., 2013).

Por otro lado, los menonitas son una comunidad agrícola que ha logrado un importante desarrollo tanto en rendimientos como en tecnología, que ha sabido diversificar los cultivos de acuerdo con las condiciones propias del mercado, y que ha sido un factor en el desarrollo económico de la ciudad de Cuauhtémoc (Ochoa et al., 2005). Aunque todos los productores agropecuarios del municipio de Cuauhtémoc han soportado, en la historia reciente, largos periodos de escasez de agua (García et al., 2013), hay elementos sociales que permiten suponer estrategias diferenciadas de un grupo social a otro.

En este sentido, mitigar las afectaciones impuestas por la escasez de agua en el espacio agrícola es importante para asegurar la producción de bienes y productos agropecuarios. Dicha mitigación se facilita si se cuenta con un marco de referencia geográfico-espacial que permita priorizar a las zonas más sensibles. Este marco de referencia involucra el diseño y utilización de

indicadores del territorio que se vinculen con la respuesta de los distintos grupos sociales a la escasez de agua, y que a la vez sean de fácil obtención a partir de técnicas sustentadas en el uso de sensores remotos (SR), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y metodologías geoinformáticas.

Pese a lo anterior, hay escasos estudios publicados sobre el tema, en los que se describa la elaboración de cartografías de la vulnerabilidad del espacio agrícola. Por esta razón, en este trabajo se construyó una cartografía de espacios agrícolas definida por las modalidades tecnológicas de uso del agua y las respuestas de cada grupo social de la Cuenca Laguna de Bustillos frente a la escasez de agua. Para lograr esto, se ordenaron bajo un arreglo lógico conceptual, un conjunto de datos cualitativos y cuantitativos que ayudan a describir la configuración del espacio agrícola, desde la perspectiva de las respuestas sociales frente a la escasez de agua.

## **Conceptos y referentes teóricos para el trabajo**

### ***Vulnerabilidad social***

Un término que puede tomarse como eje conceptual en la construcción de las cartografías anteriores es el concepto de vulnerabilidad. Este término enunciado en la teoría social del riesgo (Pérez, 2010), alude a la sensibilidad de los sistemas humanos frente a eventos adversos de distinta naturaleza. La vulnerabilidad así entendida, es función del grado de exposición ante un fenómeno adverso (amenaza) y de la capacidad de respuesta social para hacer frente o adaptarse al mismo (Nahón, 2001). En el caso de amenazas vinculadas con la escasez de agua, esta capacidad de respuesta social está sustentada en las estrategias sociales de respuesta y la disponibilidad de activos físicos y tecnológicos para enfrentar situaciones de esta naturaleza.

La vulnerabilidad puede ser tanto climática (cambios en el patrón de precipitación) o por presión hídrica, que es la relación entre disponibilidad de agua superficial y subterránea con

respecto a los diferentes usos humano, agrícola e industrial (Ávila, 2008). Respecto a esto, Cortés (2008) señala que se debe consultar si el nivel de vulnerabilidad es el mismo para toda la población cuando está expuesta a los mismos fenómenos y de qué dependen los niveles de vulnerabilidad; con ello desarrolló un índice de los niveles de vulnerabilidad de la población con el que se pueden identificar los factores que potencian el riesgo al desastre en aras de plantear estrategias tendientes a la reducción de la vulnerabilidad y a la gestión del riesgo, por lo que para el nivel de vulnerabilidad, tomó en cuenta indicadores que conforman el índice de marginación.

### ***Indicadores de respuesta frente a la escasez de agua que pueden ser cartografiables***

Una forma sencilla de caracterizar las posibilidades de respuesta social a la escasez de agua, es el cartografiado de aquellos elementos del medio físico, o del medio construido, que se relacionan de manera inequívoca con la respuesta social a un evento de esta naturaleza. En particular, los activos físicos y tecnológicos situados al interior de las superficies pertenecientes a un grupo social y que pueden ser cartografiadas (Mora et al., 2003).

Los activos físicos y tecnológicos para hacer frente a la escasez de agua, constituyen rasgos cartografiables que pueden resumirse mediante indicadores ambientales de respuesta, o descriptores simples que muestran la respuesta de la sociedad a la escasez de agua, o su capacidad para responder cuando este evento se presente. Con la ayuda de estos indicadores es posible generar una cartografía de vulnerabilidad que permita identificar las zonas que presentan una mayor exposición a los daños del fenómeno y, por lo tanto, diseñar políticas de reducción y mitigación.

Para generar la cartografía antes mencionada, se puede recurrir a tipologías conceptuales y metodológicas de construcción cartográfica, que describen las relaciones entre variables de tipo económico y el espacio geográfico. De manera particular se

alude a la corriente de la geografía denominada asimilación económica del territorio (Sánchez et al., 1999), una corriente de investigación geográfica con años de tradición académica en México, que se identifica con las nociones generales del pensamiento geográfico y con nuevas posiciones metodológicas concordantes con los procesos de la economía globalizada (Juárez, 2000). García (1993) la define como una herramienta que permite, gracias a su enfoque sintético y dinámico, comparar los territorios por su grado de semejanza o diferencia en cuanto a nivel de aprovechamiento económico-global o sectorial. Como proceso explica la gradual incorporación de los distintos espacios a la vida económica del país.

### **Datos del municipio**

El municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua, es habitado por grupos sociales con características culturales distintas. Alberga desde el siglo pasado a la colonia menonita más grande de México, y también se caracteriza por la presencia de pobladores mestizos que habitan en la región desde la mezcla de españoles e indígenas que inició en el virreinato. Ambos grupos sociales tienen prácticas culturales distintas y desarrollan las actividades agrícolas bajo ritmos, intensidades y esquemas de manejo tecnológico que tienen, en parte, un trasfondo cultural. En cada caso, el espacio ocupado refleja estas diferencias, y puede ser cartografiado para la definición de niveles de vulnerabilidad con base en sus rasgos físicos y tecnológicos. Ambos generan distintos patrones de construcción del paisaje agrícola, y cada uno presenta sus propias implicaciones ambientales.

Con base en los elementos anteriores, en este trabajo se construyó una cartografía del espacio agrícola correspondiente a cada grupo social, incorporando como elementos de diferenciación cartográfica indicadores territoriales que ayudaron a establecer la capacidad de respuesta en condiciones de escasez de agua. Los hallazgos de esta investigación son útiles para la

elaboración de políticas que se enfoquen a minimizar o mitigar el impacto de la escasez de agua.

La novedad presente en este estudio está dada por la inexistencia de trabajos similares en la región, que ofrezcan un panorama real de aquellos grupos frágiles ante el agotamiento de los recursos hídricos, propiciando el apoyo para los mismos y modificando los patrones de respuesta ante futuros sucesos similares.

Se han realizado trabajos para caracterizar la vulnerabilidad desde una perspectiva socioespacial (Abeldaño et al., 2013), pero son escasas las exploraciones para comparar la vulnerabilidad de grupos sociales con trasfondo cultural distinto, que además comparten el mismo espacio. En este sentido, cabe preguntar si es posible la construcción de estas cartografías a partir de indicadores que denoten las formas de ocupación del espacio para una actividad determinada, en este caso la agricultura. Idealmente dichos indicadores relacionan estas formas de ocupación con las respuestas sociales frente a la disponibilidad de agua.

De este cuestionamiento deriva la siguiente hipótesis: “Es posible identificar la respuesta de las comunidades menonitas y mestizas ante el abatimiento del acuífero, a partir del diseño de indicadores del medio físico y social vinculados con este fenómeno”.

## **Objetivos**

Por lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue generar una cartografía del espacio agrícola de la Cuenca Laguna de Bustillos que incorpore como elemento de diferenciación cartográfica, la intensidad de la demanda hídrica, y las estrategias de respuesta ante la escasez de agua entre menonitas, y una forma de propiedad correspondiente a mestizos, de donde se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Establecer la demanda hídrica en los predios de menonitas y mestizos a partir de indicadores de ocupación y transformación agrícola el espacio en la Cuenca Laguna de Bustillos.
- Identificar indicadores cartografiables que describan la capacidad de respuesta social frente a situaciones de escasez de agua.
- Describir el balance entre demanda hídrica y capacidad de respuesta a partir de los indicadores generados en cada caso, con el fin de aportar a la construcción de nuevos esquemas de tipificación agrícola del espacio planteados desde la perspectiva de la vulnerabilidad.

## **Metodología**

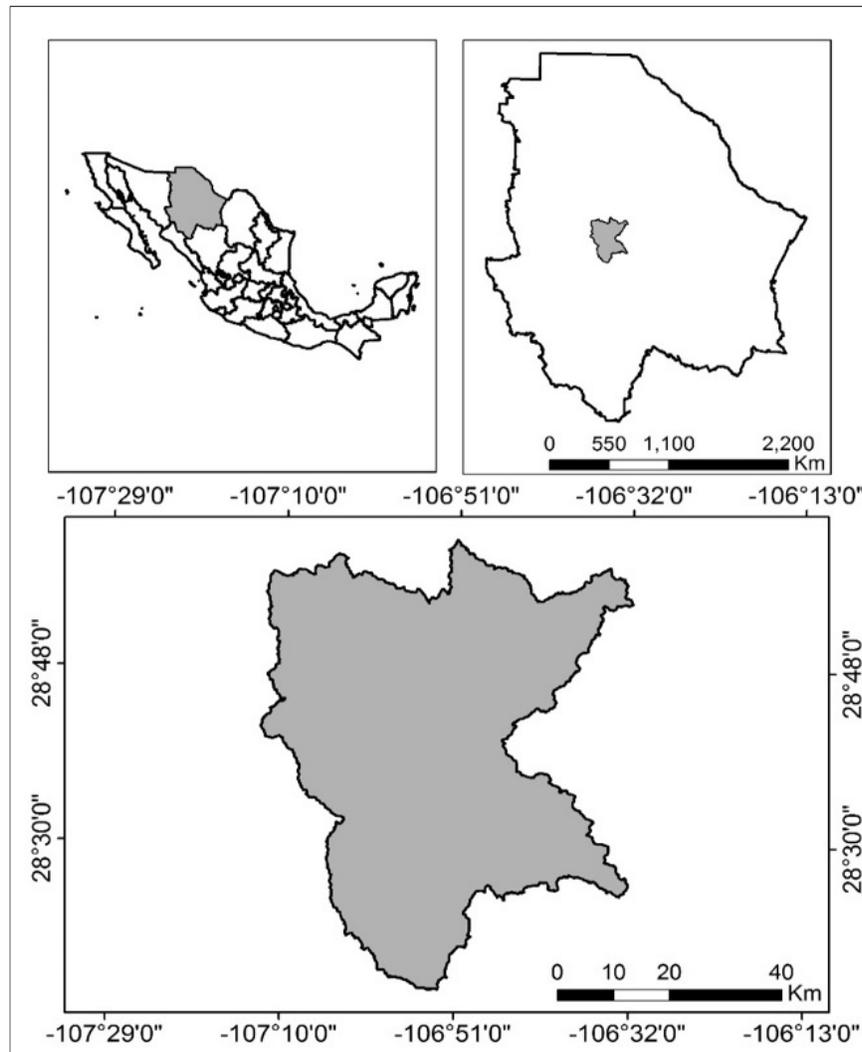
### **Área de estudio**

La Cuenca Laguna de Bustillos se localiza en el municipio de Cuauhtémoc, ubicada en la parte suroeste del estado de Chihuahua, entre los paralelos 28° 13', 28° 59' de latitud norte y los meridianos 106° 34' y 107° 10' de longitud oeste (Figura 1), abarcando un área total de 320 216 767 ha. Cuenta con una altitud entre 2000 msnm.

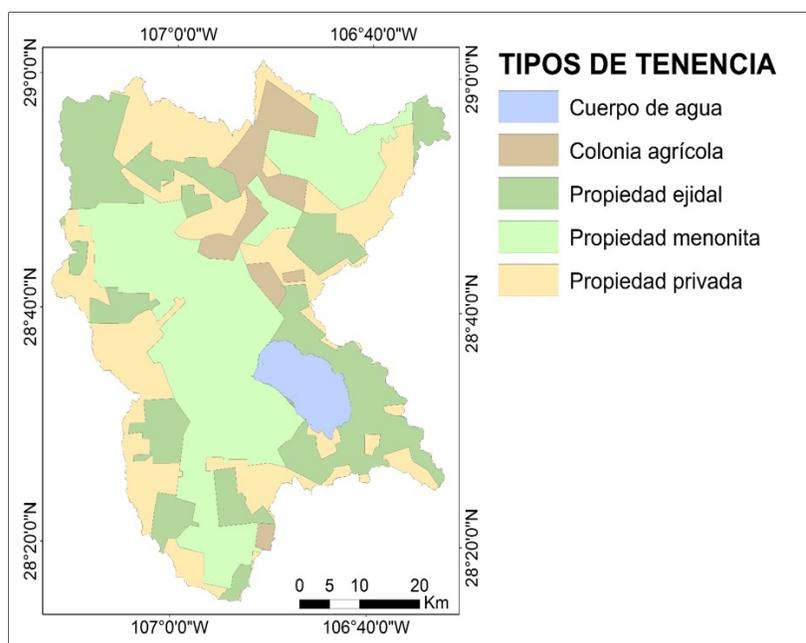
La cuenca hidrológica Laguna de Bustillos tiene una superficie de aportación de 3190.9 km<sup>2</sup> y se ubica en la parte norte del país, delimitada al norte por la cuenca hidrológica Río del Carmen 1, al sur por la región hidrológica número 24 Bravo-Conchos y la cuenca hidrológica Laguna los Mexicanos, al este por la región hidrológica número 24 Bravo-Conchos y al oeste por la región hidrológica número 9 Sonora Sur y la cuenca hidrológica Río Santa María 1 (Semarnat, 2009). Para el 2010 se contaba con una población aproximada de 134 785 habitantes. El clima predominante de la región es semiseco templado (INEGI, 2010).

### Métodos y materiales de estudio

En la zona anterior se caracterizaron los requerimientos de agua o demandas hídricas de los usos del suelo en cada forma de propiedad. Estos usos del suelo, proporcionados por Bravo et al., (2015), se traslaparon con el mapa de tenencia de la tierra, a fin de conocer la demanda entre los propietarios ejidales, menonitas, privados y las colonias agrícolas (Figura 2). A partir de aquí, a) se diferenciaron las poblaciones totales y las demandas hídricas por usos.



**Figura 1.** Localización de la cuenca de la Laguna de Bustillos.



**Figura 2.** Tipos de tenencia de la tierra presentes en la cuenca de la Laguna de Bustillos.

Fuente: Gobierno del Estado de Chihuahua y Registro Agrario Nacional, 2012.

b) Con los datos anteriores se generaron indicadores, mismos que son elementales para evaluar, dar seguimiento y predecir tendencias de la situación de un país o territorio determinado (Mondragón, 2002). Estos indicadores permitieron diferenciar las formas agropecuarias de apropiación del espacio por cada grupo social.

Los indicadores son definidos por la necesidad de medir las cuestiones relacionadas con el desarrollo, niveles de vida y condiciones sociales y económicas (Morduchowicz, 2006). Generalmente consisten en rasgos medibles del territorio, que pueden ser evaluados y monitoreados a lo largo del tiempo (Andrade et al., 2011). En este caso, los indicadores tomaron como referente la propuesta de Palacio et al. (2004) para la caracterización del medio físico y el medio social. De manera particular, se consideraron aspectos como las tierras de riego como porcentaje de las tierras cultivables, la densidad de población y los usos de suelo y vegetación.

c) Posteriormente, se caracterizó el paisaje agropecuario construido por cada grupo social. Esto implicó sobreponer a la cartografía de uso del suelo, la cartografía de tenencia de la tierra, y reconocer los predios correspondientes a menonitas y mestizos. Con ello se pudo identificar, por medio de procedimientos de fotointerpretación, las principales diferencias en el espacio construido por los distintos grupos.

### ***Indicadores para la caracterización del medio físico y social***

Los indicadores para la caracterización del medio físico y social fueron ordenados de acuerdo con el esquema de Presión-Estado-Respuesta (PER) (Polanco, 2006), figura 3, que es una herramienta analítica para categorizar la información sobre los recursos naturales y sus interrelaciones con las actividades socio-demográficas y económicas; el modelo PER se basa en el conjunto de interrelaciones siguiente: las actividades humanas ejercen presión (P) sobre el ambiente, modificando el estado (E) de los recursos naturales; la sociedad responde (R) con políticas generales y sectoriales, las cuales afectan y se retroalimentan de las presiones de las actividades humanas (INE, 2000). En este caso, los indicadores de estado definen cómo se encuentra el espacio agrícola ocupado por cada grupo social de la cuenca de la Laguna de Bustillos, los indicadores de presión identifican la demanda que ejercen estos grupos sociales sobre el recurso hídrico a partir de sus formas agrícolas de apropiación del espacio, y los indicadores de respuesta sintetizan sus formas de responder al balance que se establece entre una condición de disponibilidad de agua, y la demanda que se ejerce sobre la misma. Con base en este arreglo lógico conceptual, se definieron los indicadores que se describen a continuación.



Figura 3. Modelo Presión-Estado-Respuesta.

## Construcción de cartografías

### 1. Indicadores de estado

A) Indicador del número de cuerpos de agua naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: número y área.

Este indicador describe la disponibilidad de recursos hidrológicos superficiales, a partir de cuantificar la presencia de cuerpos de agua naturales por tipo de propiedad. Puesto que es muy difícil calcular el volumen de agua almacenado en cada cuerpo de agua, el indicador no mide la disponibilidad de agua en términos de volumen, pero sí describe, a partir de la presencia o ausencia de un embalse natural, las posibilidades que tienen los distintos grupos sociales para optar por el uso de agua de estos reservorios

cuando es necesario; por ejemplo, para riegos de auxilio con bombas sumergibles portátiles.

La utilidad del indicador radica en que permite tener una idea del potencial del territorio, para estrategias vinculadas con el uso del agua almacenada naturalmente. Es decir, la abundancia o escasez de cuerpos de agua naturales condiciona la posibilidad de implementar diversas estrategias para satisfacer las necesidades de las actividades agrícolas.

Para elaborar este indicador fue necesario trabajar con el archivo proporcionado por Bravo et al., (2014), que contabiliza los cuerpos de agua de la Laguna de de Bustillos. Posteriormente se calculó el número total de cuerpos de agua pertenecientes a cada tipo de propiedad o tenencia de la tierra, así como también se identificaron cuáles de ellos pertenecen a la categoría de natural.

Finalmente, se midió el área total ocupada por dicha clase en cada una de las tenencias, pues con ello fue posible estimar el número total de cuerpos de agua por unidad de área.

#### B) Indicador de la cobertura espacial del grado de abatimiento del acuífero por tipo de propiedad

Conocer el nivel de abatimiento del acuífero proporciona la información referente a aquellas zonas que presentan una mayor extracción del recurso hídrico, dato que al agregarse a una capa donde se tengan los usos de suelo de más demanda, así como los tipos de propiedad, permite evaluar aquellas regiones que se encuentran en un estado más crítico. Para construir este indicador se reclasificó la capa del abatimiento espacial del acuífero elaborada por Díaz et al., (2014), y que a su vez fue utilizada en otros ejercicios de tesis sobre la zona (Chávez et al., 2013).

En esta capa se delimitan las zonas de la cuenca de la Laguna de Bustillos con base en su nivel estático del acuífero, esta cuenta con los datos de abatimiento y recarga por encima o abajo del promedio para dos series temporales, de 1973 a 1991 y

de 1991 al 2000, divididas en 12 niveles. Estos niveles se reclasificaron en alto, medio, bajo y nulo (Chávez et al., 2013) y se identificó el estado del acuífero en relación con el tipo de tenencia de la tierra.

## 2. Indicadores de presión

### A) Indicador de demanda global hídrica por cultivos de maíz, huertas y población

Este mide el grado de demanda potencial que ejercen los tres tipos distintos de uso del suelo (espacios agropecuarios, huertas y población) sobre el agua, ya que, al conocer este dato, es posible determinar en qué tipo de propiedad de la tierra se presenta una mayor demanda. Para la elaboración de este indicador se consultaron los datos de consumo de agua mensuales para los cultivos de maíz y las huertas, con base en los requerimientos agronómicos para estos cultivos en la zona (COLPOS, 2007). También se consultó el gasto mensual urbano para la cuenca (JMAS, 2014) y los consumos de agua en m<sup>3</sup> anuales por persona registrados para el estado de Chihuahua por la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS, 2014). Dicha información, junto a los consumos de agua por uso agrícola, fue recopilada en una tabla que resume el consumo por tipo de propiedad.

Con los atributos por uso se generó el consumo total en hm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ocupadas para los cultivos de maíz, huertas y población, dato que se derivó de la primera columna agregada. Con ello se pudo distinguir espacialmente el agua consumida por tipo de propiedad y uso.

### B) Indicador con grado de satisfacción global hídrica para los usos agropecuarios y población humana por zona

Con este descriptor se intenta realizar una comparación entre lo que realmente se consume y lo que se considera aceptable sin sobreexplotar los recursos hídricos existentes. En este indicador se

verificaron las disponibilidades de recursos hídricos en cada tipo de propiedad. Para llevarlo a cabo, se sumaron los gastos de agua en  $\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$  al año en las clases de urbano, agrícola y huertas de manzana. Paralelamente, se identificaron mediante superposición espacial en un software de ambiente SIG (ArcGIS, v.10.2).

En este caso se consideró la información correspondiente al inventario de los pozos de extracción de agua subterránea en cada polígono de la tenencia de la tierra (REPDA), lo cual permitió estimar el volumen concesionado general para cada uno; finalmente, se calculó la diferencia entre el consumo y el volumen concesionado. Si la diferencia es de signo negativo, se identifica una situación de sobreexplotación, mientras que, si resulta positiva, se habla de un consumo racional del recurso hídrico.

En relación a este indicador, es importante considerar que los cálculos se desarrollaron con el volumen concesionado para cada pozo, pues no fue posible conseguir los datos reales de extracción. No existe un registro documentado de las extracciones, y puesto que tiene sensibles implicaciones sociales, dicha información generalmente se reserva por los productores.

### C) Indicador con la apropiación agrícola del espacio

En este caso, el indicador describe el grado de ocupación de la categoría agrícola en específico, tomando en cuenta también el área total ocupada por cada uno de los tipos de tenencia de la tierra, es decir, qué porcentaje del área total de cada grupo social se utiliza en las actividades agrícolas.

Para conocer la apropiación agrícola del espacio fue necesario identificar aquellas áreas que realmente pertenecen a esta clasificación, empleando el mapa de los usos y coberturas del suelo usado en indicadores anteriores, y con respecto al área total ocupada por cada tipo de tenencia de la tierra. Este dato se expresó en porcentaje.

#### D) Indicador con superficie de huertas por tipo de propiedad

Este indicador mide la intensificación del espacio agrícola construido por cada grupo social. Parte de la premisa que la instalación de huertas implica incrementar la demanda de agua, pues los cultivos perennes requieren agua todo el año, aun en temporadas en las que no existen cultivos anuales. Según COLPOS (2007), duplican el consumo de agua (Anexo 8, COLPOS, 2007), y adicionalmente en caso de escasez extrema, los agricultores pueden optar por no sembrar sus cultivos anuales, pero generalmente continúan regando los cultivos perennes, en espera de mejores condiciones antes de perder los recursos invertidos.

En este caso, se midió la superficie total ocupada por las huertas en cada uno de los diferentes tipos de propiedad, vigentes a principios del año 2014, con la finalidad de conocer el uso que se le da a esta clase no solamente hablando territorialmente, sino enfocándose más al consumo del agua que satisface las necesidades de las huertas, y que posteriormente, al analizarse en conjunto con el resto de los indicadores, permitirá inferir ciertos patrones sociales, como la vulnerabilidad ante la falta de recursos hídricos, entre otros.

Para desarrollarlo, se actualizó la cartografía de huertas de manzana hasta el año 2014 en imágenes de resolución media y alta, y se comparó con el área total ocupada por cada una de las distintas tenencias de la tierra, obteniendo así un porcentaje.

### 3. Indicadores de respuesta

#### A) Indicador del número de cuerpos de agua no naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: número y área

El indicador con el número de cuerpos de agua no naturales por tipo de tenencia, describe las posibilidades de almacenamiento de agua superficial por parte de los distintos actores sociales,

mismos que pueden ser cruciales en caso de escasez de este recurso. Al igual que en el caso del indicador de número de cuerpos de agua naturales, en este indicador de respuesta no se mide la disponibilidad de agua en términos de volumen, pero sí se describe el grado en el que los distintos grupos de productores agrícolas han implementado la estrategia de retener agua superficial para satisfacer sus necesidades productivas.

Para construir este indicador, se siguió la metodología empleada en el indicador A, en donde se trabajó con el archivo proporcionado por Bravo et al., (2014) que contiene los cuerpos de agua tanto naturales como no naturales para la cuenca de la Laguna de Bustillos; en este caso solo se emplearon los cuerpos de agua no naturales.

#### B) km de red de distribución subterránea de agua en los diferentes tipos de tenencia de la tierra

Este indicador describe el grado de tecnificación de las formas de distribución del agua de riego agrícola. Se parte del supuesto que, en la medida que se es más tecnificado con redes de distribución del agua, la eficiencia de uso del agua se incrementa, los desperdicios se reducen, y en general se optimiza el uso del agua disponible. Esto permite enfrentar con mayor eficiencia las condiciones de escasez de agua.

Como primer paso para el diseño de este indicador, se consultó la información vectorial de red de distribución subterránea para el municipio de Cuauhtémoc presentada por COLPOS (2012). Esta información se cortó con el archivo de la cuenca de la Laguna de Bustillos con la finalidad de conservar únicamente los datos para el área de interés; se calculó la longitud total ocupada por cada tipo de tenencia de la tierra, pues de esta manera fue posible conocer los km ha<sup>-1</sup> pertenecientes a cada propiedad.

C) Densidad de la red de distribución de agua subterránea en los cultivos perennes (huertas)

Puesto que la región destaca por la importancia de su producción manzanera, y en particular por las tasas de incremento anual en la superficie de huertas (Chávez et al., 2013), en este trabajo se calcularon los km de red de distribución subterránea (COLPOS, 2012) distribuidos en la clase de huerta. Posteriormente, conociendo el área ocupada por las huertas en cada tipo de propiedad de la tierra, se calcularon los km lineales de la red de distribución subterráneas ha<sup>-1</sup>, infiriéndose así el grado de tecnificación por los productores menonitas y mestizos.

## Resultados

La cuenca de la Laguna de Bustillos comprende 4 tipos de propiedad (Figura 2), mismos que se presentan en la tabla 1, al igual que el área ocupada por cada uno de ellos:

**Tabla 1.** Área ocupada por cada tipo de tenencia de la tierra

TIPO DE TENENCIA	ÁREA (ha)
Colonia agrícola	21 388.71
Propiedad ejidal	88 292.97
Propiedad menonita	115 183.91
Propiedad privada	91 059.60

### 1. Indicadores de estado

A) Indicador del número de cuerpos de agua naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: número y área

En el caso de los cuerpos de agua naturales presentes en la cuenca de la Laguna de Bustillos se encontraron un total de 276 cuerpos de agua (Tabla 2) repartidos principalmente en la parte norte de la cuenca, ocupando mayormente la propiedad privada con 125 polígonos, a diferencia de las colonias agrícolas y la propiedad menonita que cuentan con 34 y 35 cuerpos de

agua, respectivamente. El cuerpo de agua con mayor extensión (excluyendo la Laguna de Bustillos) se localiza en propiedad privada con una extensión de 179.675 ha.

Las ha de cuerpos de agua natural en relación con las ha totales de tierra por tipo de tenencia indican distintas proporciones. En el caso de los propietarios privados existen 0.00263 ha de cuerpos de agua naturales por cada ha de propiedad; los propietarios menonitas, en cambio, cuentan con 0.00209 ha de cuerpos de agua naturales por cada ha de propiedad; finalmente, los colonos agrícolas y los propietarios ejidales cuentan con 0.00166 y 0.00059 ha de cuerpos de agua naturales por cada ha de propiedad, respectivamente. Estos resultados sugieren que aquellos propietarios que han resultado más favorecidos por la disponibilidad natural de cuerpos de agua son los productores privados y menonitas.

**Tabla 2.** Número y área de cuerpos de agua naturales por tipo de tenencia de la tierra

Tipo de tenencia	Números de cuerpos de agua	Área (ha)
Colonia agrícola	34	24.87
Propiedad ejidal	82	52.57
Propiedad menonita	35	241.02
Propiedad privada	125	239.48

En cuanto a la proporción que representan estos cuerpos de agua en relación con el área total de la cuenca, los productores menonitas cuentan con mayor has de cuerpos de agua natural por cada ha de la cuenca (0.000752 ha), seguidos de los productores privados con 0.000747 ha de cuerpo de agua natural por cada ha de la cuenca; finalmente, los productores ejidales y los colonos agrícolas con 0.000164 y 0.000077 ha de cuerpo de agua natural por cada ha de la cuenca, respectivamente.

B) Indicador de la cobertura espacial del grado de abatimiento del acuífero por tipo de propiedad.

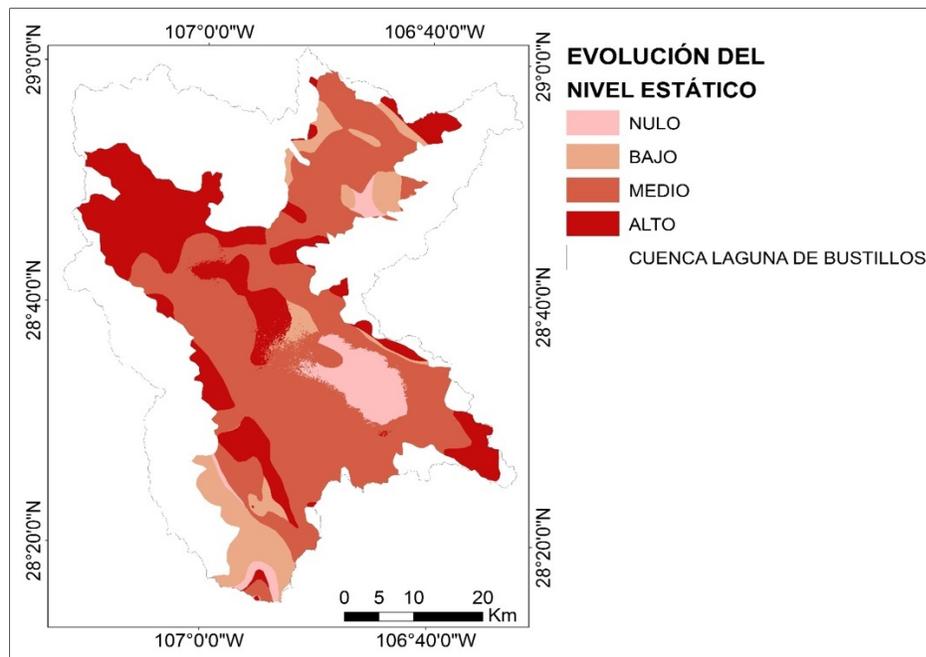
Una vez terminada la reclasificación de los niveles del estado del acuífero, se realizó una cartografía en la que se aprecia la mayor parte de la cuenca cubierta por alguna de las clasificaciones (Figura 4).

Aquí, el abatimiento del acuífero se expresa como alto, medio, bajo y nulo. Como es de esperarse, parte de las áreas urbanas se encuentran sobre las zonas de alto abatimiento, así como las huertas de manzana que abarcan el abatimiento alto y medio. En cuanto a abatimiento por tipo de tenencia, las colonias agrícolas contienen un 10.58% de abatimiento alto, la propiedad ejidal abarcó un 13.83% de abatimiento alto, la propiedad menonita ocupa un 28.59% de la misma clasificación mientras que en la propiedad privada se representa con un 7.45% (Tabla 3).

Estos grados de abatimiento del acuífero pueden atribuirse a las prácticas que ahí se realizan, pero también están asociadas con el área que ocupa cada una de las formas de tenencia de la tierra.

**Tabla 3.** Porcentajes del grado de abatimiento del acuífero por tipo de propiedad y clasificación

Abatimiento	Colonia agrícola	Propiedad ejidal	Propiedad menonita	Propiedad privada
ALTO	10.58%	13.83%	28.59%	7.45%
MEDIO	49.19%	24.19%	52.04%	13.54%
BAJO	7.86%	4.14%	11.44%	3.27%
NULO	0.11%	1.41%	1..20%	0.81%



**Ilustración 4.** Evolución del nivel estático en la cuenca de la Laguna de Bustillos, representada en 4 clasificaciones; Modificado de Alatorre et al. (2014).

## 2. Indicadores de presión

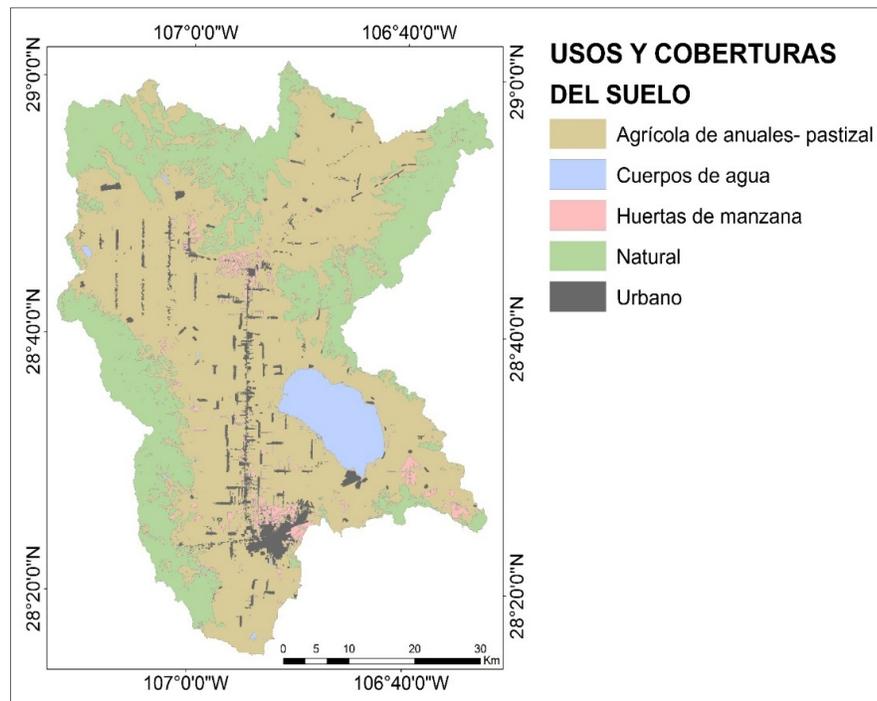
A) Indicador de demanda global hídrica por cultivos de maíz, huertas y población

Al realizar este indicador (Figura 5, tabla 4), en el que se localizaron los usos y coberturas de suelo, así como el consumo anual por cada uno de ellos, se encontraron los resultados presentes en la tabla 4, donde se puede observar que aquella que más consume agua, es la cobertura ocupada por los espacios agrícolas, precedida por las huertas de manzana y las áreas urbanas (esto asumiendo que todas las zonas agrícolas son de riego).

**Tabla 4.** Consumo anual en  $\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$  por los principales usos del suelo y tipo de tenencia de la tierra.

Tipo de tenencia	CONSUMO EN $\text{hm}^3$ ANUALES			TOTAL
	Huertas de manzana	Urbano	Agrícola	
Colonia agrícola	10.43	0.47	34.35	45.26
Propiedad ejidal	10.84	0.53	87.42	98.80
Propiedad menonita	20.48	1.90	290.87	313.25
Propiedad privada	22.48	14.33	38.60	75.43

Interpretando estos resultados en términos de presión sobre los recursos, en general, se puede decir que la cuenca sufre una gran presión a causa de los usos del suelo que ahí se desarrollan. Los usos agropecuarios, por ejemplo, abarcan un 64.48% del área total de la cuenca, mientras que las zonas urbanas abarcan un 3.29% del área.



**Figura 5.** Mapa con los usos y coberturas del suelo en la cuenca de la Laguna de Bustillos; Fuente: Bravo et al. (2015).

B) Indicador con grado de satisfacción global hídrica para los usos agropecuarios y población humana por zona

Conociendo el número de pozos totales y su volumen de extracción concesionado, fue posible verificar la diferencia entre un aproximado a lo que se consume en la cuenca, y lo que debería ser un límite de extracción.

Para ello se emplearon los datos generados anteriormente sobre el consumo en huertas de manzana, cultivo de maíz y las zonas urbanas, todo en  $\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$  anuales, como se muestra en la tabla 5, donde los resultados más relevantes se concentran en la propiedad menonita, ya que presenta el mayor consumo anual, mientras que las colonias agrícolas presentan un consumo menor de hasta un 41.2% respecto a la propiedad menonita.

Visto de manera general y analizando los resultados presentes en la tabla 4 y la figura 5, se puede ver que el mayor consumo de agua se presenta en la propiedad menonita principalmente sobrepasando en 128 891  $\text{hm}^3$  anuales el volumen concesionado. En segundo lugar, se ubica la propiedad ejidal que sobrepasa el límite por 86 690  $\text{hm}^3$  anuales. El menor rezago se presentó en la propiedad privada con un desfase de 27 351  $\text{hm}^3$  anuales. Cabe mencionar que este análisis es general, pues no se está tomando en cuenta el gasto de agua con respecto al área que ocupa cada uno de los tipos de tenencia.

**Tabla 5.** Número de pozos por tipo de tenencia de la tierra y volumen concesionado por tipo de propiedad; déficit en el abastecimiento de agua.

Tipo de tenencia	No. de pozos	Volumen concesionado ( $\text{hm}^3$ )	Déficit respecto al consumo calculado ( $\text{hm}^3$ )
Colonia agrícola	73	5809	39 453
Propiedad ejidal	105	12 112	86 690
Propiedad menonita	1310	187 368	125 891
Propiedad privada	181	48 080	27 351

### C) Indicador con la apropiación agrícola del espacio

En este caso se obtuvo una tabla en la cual se muestran las superficies agrícolas ocupadas por cada tipo de tenencia, esto en comparación con el área total de cada propiedad de la tierra. Como se observa en la tabla 6, la tenencia tiene una mayor apropiación agrícola menonita con un 76.78%, mientras que la propiedad privada es la que presenta una menor superficie ocupada con terrenos agrícolas, esto con un 12.89%.

**Tabla 6.** Porcentaje de ocupación agrícola por tipo de tenencia de la tierra

Tipo de tenencia	% de superficie agrícola
Colonia agrícola	48.84
Propiedad ejidal	30.10
Propiedad menonita	76.78
Propiedad privada	12.89

### D) Indicador con superficie de huertas por tipo de propiedad

Con la realización de este indicador se obtuvo como resultado una tabla en la que se expone la superficie de huertas ocupada en comparación con el área total para cada tipo de tenencia de la tierra y expresado en porcentaje (tabla 7), de la cual se puede observar que aquel tipo de propiedad que cuenta con una mayor superficie (respecto al área total) es el de las colonias agrícolas con un 6.66%, mientras que la ejidal reduce su propia área hasta un 1.72%.

**Tabla 7.** Porcentaje de ocupación en huertas por tipo de tenencia

Tipo de tenencia	Superficie (ha)	Apropiación agrícola del espacio para huertas
Colonia agrícola	1424.16	6.66%
Propiedad ejidal	1520.82	1.72%
Propiedad menonita	2525.85	2.19%
Propiedad privada	2998.35	3.29%

### 3. Indicadores de respuesta

A) Indicador del número de cuerpos de agua no naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: número y área

En este indicador, la propiedad menonita cuenta con 389 cuerpos de agua no naturales, seguida de la propiedad ejidal con 306, la propiedad privada con 257 y finalmente la colonia agrícola con 68. En general, se encuentran distribuidos de manera uniforme por toda la cuenca abarcando principalmente las áreas agrícolas. Los cuerpos de agua no naturales abarcan un área total de 853.23 ha, pero por su número y cobertura, se distribuyen de forma muy distinta por tipo de propiedad (tabla 8).

Las hectáreas de cuerpo de agua no natural en relación con las hectáreas totales por cada tipo de propiedad representan una proporción distinta. Entre los propietarios privados existen 0.0021 ha de cuerpo de agua no natural por cada ha de propiedad; entre los propietarios menonitas son 0.0032 ha de cuerpo de agua no natural por cada ha de propiedad; mientras que entre los productores ejidales y los colonos agrícolas son 0.0026 y 0.00205 has de cuerpo de agua no natural por cada ha de propiedad, respectivamente.

**Tabla 8.** Número y superficie de cuerpos de agua no naturales por tipo de tenencia de la tierra.

Tipo de tenencia	Números de cuerpos de agua	Área (ha)
Colonia agrícola	68	43.99
Propiedad ejidal	306	234.95
Propiedad menonita	389	375.59
Propiedad privada	257	194.70

Estas proporciones sugieren que son los menonitas quienes se han apropiado con mayor intensidad de los escurrimientos superficiales, superando en casi un 25 % a sus pares más cercanos, los propietarios ejidales. Los colonos agrícolas, a su vez, son los productores que aparentemente se han apropiado con menor intensidad de las aguas superficiales.

En relación con el área total de la cuenca, estas diferencias se mantienen. Los menonitas poseen 0.00118 ha de cuerpo de agua no natural por cada ha de la cuenca, mientras que los productores ejidales tienen 0.00073 ha de cuerpo de agua no natural por ha del total de la cuenca. Le siguen de cerca otros propietarios mestizos, como los productores privados con 0.000608 y los colonos agrícolas con 0.00013 ha de cuerpo de agua no natural por ha de cuenca, respectivamente.

#### B) km de red de distribución subterránea de agua en los diferentes tipos de tenencia de la tierra

Para este indicador se utilizaron los datos generados por COLPOS en 2012, relativos a la distribución de la infraestructura de distribución de agua subterránea en la cuenca. Se encontró que en total existen 1911.317 km repartidos por la cuenca, de los cuales 1626.426 km pertenecen a la propiedad menonita ocupando un 85.09%, seguido de la propiedad privada con 127.454 km de distribución subterránea (6.66%), 85.688 km en la propiedad ejidal (4.483%) y finalmente con un 3.753% 0 71.749 km para las colonias agrícolas.

Analizando concretamente los resultados antes mencionados, respecto al área total de la propiedad por grupo social, se puede deducir que en el caso de las propiedades menonitas se cuenta con 0.016 km ha<sup>-1</sup> de tubería, mientras que la propiedad privada ocupa 0.0071 km ha<sup>-1</sup>, demostrando una gran diferencia entre un tipo de propiedad y otro.

Para las propiedades ejidales y colonias agrícolas se encontró un total de 0.00023 km ha<sup>-1</sup> y 0.0069 km ha<sup>-1</sup>, respectivamente, donde la propiedad con una menor distribución subterránea por ha es la ejidal, a diferencia de la menonita que presenta una mayor distribución.

C) Densidad de la red de distribución de agua subterránea en los cultivos perennes (huertas)

En el caso de este indicador, se identificaron en la tabla 9 los  $\text{km ha}^{-1}$  distribuidos en las zonas de huerta por tipo de propiedad. Como se puede observar, la menonita es la que cuenta con una mayor tecnificación con  $0.0388 \text{ km ha}^{-1}$ , seguida de la colonia agrícola con  $0.0226 \text{ km ha}^{-1}$ , la propiedad privada y finalmente la propiedad ejidal.

**Tabla 9.** Tecnificación de riego en los cultivos perennes o huertas en  $\text{km ha}^{-1}$

Tipo de tenencia	Tecnificación del riego ( $\text{km ha}^{-1}$ )
Colonia agrícola	0.0226
Propiedad ejidal	0.0159
Propiedad menonita	0.0388
Propiedad privada	0.0221

### **Diferencias entre los indicadores de la caracterización del medio físico y social**

Finalmente, se conjuntaron las resultantes de cada uno de los indicadores en el esquema PER, con la finalidad de identificar más claramente las diferencias generales. En este esquema se observan las colonias agrícolas, la propiedad ejidal, la propiedad menonita y la propiedad privada.

Como se observa en el primer indicador, la propiedad con una mayor cantidad de cuerpos de agua naturales es la privada, pero en relación con el área total ocupada, es la propiedad menonita la que cuenta con una mayor área en cuerpos de agua naturales; en el caso del estado del acuífero por abatimiento, la propiedad menonita presenta el mayor porcentaje entre los grados de abatimiento alto y medio, seguida de las colonias agrícolas (Tabla 10).

**Tabla 10.** Resultados de los indicadores de estado del modelo PER

Modelo PER indicadores de estado	RESULTADOS				
	Colonia agrícola	Propiedad ejidal	Propiedad menonita	Propiedad privada	
Indicador del número de cuerpos de agua naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: Número y área	34 (24,876 ha)	82 (52,576 ha)	35 (241,021 ha)	125 (239,489 ha)	
Proporción que representa el área de los cuerpos de agua naturales respecto al área total de la cuenca (ha)	0.00007	0.000164	0.000752	0.000747	
Relación hectáreas de cuerpo de agua natural respecto a las hectáreas totales, por tipo de propiedad	0.00116	0.00059	0.00209	0.00263	
Indicador de la cobertura espacial del grado de abatimiento del acuífero por tipo de propiedad	ALTO	10.58%	13.83%	28.59%	7.45%
	MEDIO	49.19%	24.48%	52.04%	13.54%
	BAJO	7.86%	4.14%	11.44%	3.27%
	NULO	0.11%	1.41%	1.20%	0.81%

En el caso del indicador A en presión (tabla 11), el grupo social que más agua consume entre producción agrícola y consumo humano es la menonita, misma que también sobrepasa por mayor cantidad el consumo permitido de agua según el indicador a, seguida de la propiedad ejidataria, pero haciendo un balance entre consumo y área ocupada, resulta ser la propiedad privada la que más agua consume ha-1 anualmente (0.0042 hm<sup>3</sup> ha-1).

**Tabla 11.** Resultados de los indicadores de presión del modelo PER

Modelo PER indicadores de presión	RESULTADOS			
	Colonia agrícola	Propiedad ejidal	Propiedad menonita	Propiedad privada
Indicador de demanda global hídrica por cultivos de maíz, huertas y población ( $\text{hm}^3\text{ha}^{-1}$ )	45.26	98.80	313.25	75.43
Intensidad de consumo respecto al área total de la propiedad por grupo social ( $\text{hm}^3\text{ha}^{-1}$ )	0.00367	0.00323	0.00318	0.00423
Intensidad de consumo respecto al área total de la propiedad por grupo social ( $\text{hm}^3\text{ha}^{-1}$ )	0.00014	0.00031	0.00991	0.00023
Indicador con grado de satisfacción global hídrica para los usos agropecuarios y población humana por zona ( $\text{hm}^3\text{ha}^{-1}$ )	39.45	86.69	125.89	27.35
Indicador con la apropiación agrícola del espacio	44.84%	30.10%	76.78%	12.89%
Indicador con superficie de huertas por tipo de propiedad	6.66%	1.72%	2.19%	3.29%

En el caso de la apropiación agrícola del espacio y la superficie de huertas por tipo de propiedad, la comunidad menonita es la que presenta una mayor ocupación de suelos agrícolas, mientras que los colonos agrícolas son los que destinan un área mayor a las huertas de manzana, en comparación con los otros tipos de propiedad.

En este caso, cabe mencionar que, a pesar de contar con una mayor extensión de huertas de manzana en relación al total de su propiedad, los colonos agrícolas muestran niveles de tecnificación en su zona, que no corresponden con lo extendido que se encuentra este cultivo en sus áreas agrícolas. Por la densidad de la red de distribución de agua subterránea, aparentemente

todos los productores son vulnerables por su escasa tecnificación, pero es de suponerse que esta vulnerabilidad sea mayor, entre quienes, además de estar poco tecnificados, tienen mucha superficie de un cultivo que es altamente demandante de agua.

El caso contrario se observa entre los productores menonitas, quienes, a pesar de contar con una proporción menor en huertas, cuentan con una mayor red de distribución entre sus propiedades. Esta puede ser una de las razones que expliquen que las huertas en la propiedad menonita hayan crecido a tasas considerablemente mayores que en el resto de los productores, incluso en los predios localizados en zonas de alto abatimiento del acuífero, como fue encontrado por Chávez et al. en el 2013 (tabla 12).

**Tabla 12.** Resultados de los indicadores de respuesta del modelo PER.

Modelo PER indicadores de presión	RESULTADOS			
	Colonia agrícola	Propiedad ejidal	Propiedad menonita	Propiedad privada
Indicador del número de cuerpos de agua no naturales por cada tipo de tenencia de la tierra: Número y Área	68 (43.99 ha)	306 (234.95 ha)	389 (379.59 ha)	257 (194.701 ha)
Proporción que representa el área de los cuerpos de agua no naturales respecto al área total de la cuenca (ha)	0.21%	0.27%	0.33%	0.21%
Relación ha de cuerpo de agua no natural respecto a las ha totales por tipo de propiedad	0.01%	0.07%	0.12%	0.06%
B) km de red de distribución subterránea de agua en los diferentes tipos de tenencia de la tierra	85.68 km	71.74 km	1626.42 km	1911.29 km
Densidad de la red de distribución subterránea respecto al área total de la propiedad por grupo social (km ha <sup>-1</sup> )	0.0069	0.0023	0.0160	0.0071
Densidad de la red de distribución subterránea respecto al área total de la cuenca (km ha <sup>-1</sup> )	0.00027	0.000227	0.0051	0.006
Densidad de la red de distribución de agua subterránea en los cultivos perennes (huertas, km ha <sup>-1</sup> )	0.0226	0.0159	0.0388	0.0221

## Discusión

Al respecto, debe mencionarse que para fortalecer el supuesto anterior es necesario medir la persistencia de las huertas en los terrenos de cada grupo social (su estabilidad espacial a lo largo del tiempo) (Rampsey et al., 2001), así como otros rasgos que denoten sus condiciones de tecnificación, como fotointerpretar y contar la densidad de árboles  $\text{ha}^{-1}$ , pues se relacionan indirectamente con la vulnerabilidad a la escasez de agua. Esta tarea escapa a los objetivos del presente trabajo, pero se ha desarrollado preliminarmente en otros proyectos de investigación relacionados tanto con la temática como con el área de estudio (Bravo et al., 2015).

En cuanto a cuerpos de agua no naturales, los menonitas cuentan con una mayor extensión de cuerpos de agua, aunque esta diferencia no resulta muy prominente, ya que los cuatro tipos de tenencia de la tierra muestran resultados similares; finalmente, en el indicador B en respuesta, se observa que la propiedad menonita es la que ocupa una mayor red de distribución subterránea, es decir, se encuentra más tecnificada en cuanto al uso del recurso hídrico para el desarrollo de sus actividades. En este caso, cabe mencionar que entre el agua de riego y su manejo intervienen distintos factores como la calidad y disponibilidad del recurso, el método de riego y su diseño, la eficiencia de riego, entre algunos otros factores (De la Peña et al., 2001), que en conjunto influyen en la obtención de una mayor o menor productividad.

Además de lo descrito anteriormente para cada uno de los indicadores, queda claro que la cultura contribuye a moldear el paisaje (Sauer, 2006). Es decir, en cada uno de sus patrones refleja ciertas costumbres y formas de entender y trabajar el entorno, lo que a su vez caracteriza a cada grupo determinado. En este sentido, es evidente que el espacio agrícola ocupado por la población menonita denota mayores grados de tecnificación e intensificación en cuanto al uso del agua, lo que a su vez se relaciona con un ethos colectivo (Boynton, 1997) en el que la actividad agrícola se convierte en un distintivo de prestigio social para

este grupo de población, y que termina por conformar la cultura de esta comunidad (Naka, 2008).

Aquí se refleja parte de lo que conforma el ser de este grupo social, que ha migrado desde sus inicios por distintos países del mundo, buscando libertad religiosa y la posibilidad de desarrollar sus prácticas agrícolas. En consecuencia, tuvo que formar un vínculo con el paisaje y aprendió a trabajar las tierras en forma de campos agrícolas muy eficientes, tal y como se expone en el caso aquí estudiado.

Al igual que lo observado anteriormente, los mestizos también presentan formas de apropiación del paisaje, medidas en términos de la tecnificación agrícola, que obedecen en cierta forma a un trasfondo cultural. Aunque hay excepciones, con frecuencia son menos eficientes en producción agrícola (Valverde et al., 2010), lo que seguramente se traduce en menor eficiencia económica y menores posibilidades para tecnificarse —reflejado en menores densidades de distribución del agua subterránea—. Sin embargo, en esta situación han debido desarrollar estrategias alternativas que implican la necesidad de menos recursos económicos para hacer frente a la escasez de agua, pero que igualmente les permiten enfrentar el fenómeno. Destacan en este caso la construcción de reservorios para captar el agua superficial.

A partir de los indicadores generados, se advierte que es posible diferenciar el espacio agrícola en términos de la demanda y los usos del agua. En el trabajo queda patente que hay menos posibilidad de satisfacer esta demanda entre los colonos agrícolas, porque en general tienen más huertas por área, pero no destacan por estar tecnificados. Por otro lado, en cuanto a respuesta, los indicadores generados en el trabajo, sugieren que esta capacidad de respuesta es más desarrollada entre los propietarios menonitas por las siguientes razones: cuentan con una tecnificación considerablemente mayor al resto, al tener una mayor distribución de la red subterránea, lo que les permite tener un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, y por lo tanto,

generar mayores ganancias, que con el tiempo se pueden traducir en una mayor tecnificación

En cuanto al balance existente entre ambos tipos de indicadores, se infiere que los menonitas parecen el grupo menos vulnerable, pues, aunque tienen prácticas de uso del agua que denotan gran presión sobre el paisaje agrícola construido por ellos, también refleja mayores capacidades de respuesta y eficiencia en el uso del agua. Por el contrario, entre la población de mestizos, existen propietarios que realizan prácticas que ejercen una gran presión y con un menor aprovechamiento de los recursos hídricos, como es el caso de los colonos agrícolas, que tienen muchas huertas (mayor demanda de agua) y su tecnificación es menor.

Se observa también, que, aunque la comunidad menonita ha tenido que convivir desde 1927 con la comunidad de mestizos en la región de Cuauhtémoc, sus formas de construir e intensificar el paisaje siguen siendo distintas. Queda patente que entre grupos existen formas muy particulares de trabajar la tierra, así como de enfrentar el abatimiento del acuífero.

En todos los grupos sociales existen relaciones entre características socioculturales y paisaje, y esta relación finalmente condiciona los grados de vulnerabilidad a los cuales se exponen frente a la escasez de agua, como se ha mencionado en algunos estudios (Ortega et al., 2013; PNUD, 2006; Velasco, 2005).

Estas formas de construir el paisaje se vinculan a su vez con la capacidad social para enfrentar la falta de agua. De aquí pueden explicarse preguntas formuladas por otros autores que han abordado previamente este fenómeno. Es el caso de Chávez et al. (2013), quienes encontraron que, aun en los predios donde hay alto abatimiento del acuífero, los productores menonitas destacan sobre los otros productores en indicadores espaciales como la velocidad o tasa de incremento anual en la cobertura de huertas.

Una asignatura pendiente es evaluar si las huertas de cada grupo social tienen la misma tasa de permanencia en el tiempo,

es decir, si a lo largo de los años existen diferencias en las tasas de abandono, en particular entre los productores no menonitas. Dicha evaluación, que permitirá corroborar la pertinencia de los indicadores construidos en este trabajo, se desarrolla actualmente en el marco de este mismo proyecto.

Los hallazgos de este trabajo sugieren, que la vulnerabilidad puede ser medida a partir de la elaboración de diversos indicadores (disponibilidad de cuerpos de agua, km de tubería para la distribución de agua por superficie total, número de pozos por km<sup>2</sup>; etcétera). En este sentido, resultó de especial utilidad el modelo PER, pues permitió establecer aquellos que se relacionan con la disponibilidad natural de los recursos hídricos, las presiones que se ejercen sobre los mismos y que van determinando la vulnerabilidad a la escasez de agua tanto de la sociedad menonita como mestiza.

## Conclusiones

En este trabajo fue posible identificar dos rasgos cartografiables que pueden ser útiles como indicadores de respuesta social frente al abatimiento del acuífero. Uno de ellos es el establecimiento de pequeños reservorios de agua a las orillas de los predios agrícolas, en los que se pueden almacenar cantidades de agua que escurren luego de realizar las labores de riego, y que pueden ser utilizadas en los predios vecinos, además de otros cuerpos de agua no naturales (indicador de respuesta A) que ocupan un 0.33% del área total de la propiedad menonita y un 0.27% en el caso de la propiedad ejidal, así como la red de distribución subterránea por cada uno de los tipos de tenencia (indicador de respuesta B). Se identifican así, ya que por medio de estos reservorios o cuerpos de agua no naturales y redes de distribución subterránea, los diferentes grupos sociales pueden abastecerse de este recurso en periodos en los que se ve agotado, y esto a la vez es un indicador de la respuesta social frente a la escasez de agua.

De igual manera, y considerando los indicadores propuestos en el presente trabajo como información real, fue posible identificar la demanda hídrica entre los diferentes predios, encontrando un mayor consumo de agua (313.26 hm<sup>3</sup>) en el tipo de propiedad menonita, esto si se analiza de manera global, pero al realizar el análisis respecto al área de propiedad de cada grupo los propietarios privados tienen una mayor demanda con 0.0042 hm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (indicador de presión A, B). Un caso similar se observó con los colonos agrícolas, quienes destacan por su cobertura relativa de cultivos de alta demanda hídrica (huertas, indicador de presión C), pero sus estrategias de respuesta, en términos de eficiencia de uso del agua, no corresponden al nivel de demanda que ejercen. En ambos casos se observa alta demanda de los recursos hídricos, aunque se dan en diferentes escalas dependiendo del área ocupada.

Finalmente, se identificó el balance entre la demanda hídrica y la capacidad de respuesta (indicadores de estado A y B, indicador de presión a), que resultó distinto en cada uno de los tipos de propiedad, y fue evidente cómo el espacio agrícola ocupado por la población menonita denota mayores grados de tecnificación en cuanto al uso del agua al tener una mayor distribución de la red subterránea. Sin embargo, no todas las regiones se adaptan de la misma manera ante la producción y explotación de su territorio, aun cuando las condiciones puedan ser muy similares, todo varía dependiendo de sus costumbres y educación, o simplemente de las capacidades sociales y económicas que estén a su alcance.

Como corolario, debe mencionarse que estudios como el aquí desarrollado pueden ser de gran ayuda en la toma de decisiones, en particular al momento de destinar apoyos a las actividades agropecuarias. Conocer qué grupos sociales son más vulnerables a la falta de recursos hídricos y cuáles cuentan con una mayor tecnificación para el uso del agua, permite diseñar e implementar programas que impulsen el desarrollo de aquellos productores con menos activos financieros, sociales o tecnológicos. Para reforzar aún más los resultados obtenidos en este

estudio, es recomendable su continuación ampliando los plazos de investigación, generando nuevos resultados mediante la aplicación de otros indicadores y realizando visitas a campo.

## **Bibliografía**

Abeldaño, R. A., J. C. Etario y A. R. Fernández, (2013). "Análisis y distribución espacial de la vulnerabilidad social en la Provincia de Salta, Argentina", *Revista de salud*.

Alatorre, L. C., R. E. Díaz, S. Miramontes, L. C. Bravo and E. Sánchez, (2014). "Spatial and Temporal Evolution of the Static Water Level of the Cuauhtemoc Aquifer during the Years 1973, 1991 and 2000: A Geographical Approach", *Journal of Geographic Information System*, no. 6, pp. 572-584.

Andrade, Á., S. Arguedas y R. Vides, (2011). *Guía para la aplicación y monitoreo del enfoque Ecosistémico*, UNESCO, pp. 18-20.

Ávila, P., (2008). "Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis", *Ciencias*, núm. 90, pp. 46-57.

Boynton, L., (1997). "Clothing is a window to the soul: The social control of women in a Holdeman Mennonite Community", *Journal of Mennonite Studies*, vol. 15, pp. 11-30.

Bravo, L. C., (2014). "Menonitas, cultura y paisaje agrícola. Retos y oportunidades en el aprovechamiento del agua en Chihuahua", Expoagro internacional Chihuahua 2014 y 7° Foro del agua, Chihuahua, Centro de exposiciones y convenciones de Chihuahua, pp. 32.

Castro, P. (1999). "Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: un fruto social de la Revolución Mexicana", *Polis Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial*, vol. 1, núm. 95, pp. 171-196.

Chávez, A. E. y J. A. Corral (2013). Relaciones espaciales entre los cambios de nivel estático del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, y la cobertura de huertas de manzana durante

1993-2003, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua.

COLPOS (2007). Plan Director Unión de Asociaciones de Usuarios de Aguas Subterráneas del Acuífero de Cuauhtémoc, Chihuahua, S. de R. L. de I. P. de C.V. (más anexos.), Chapingo, México: Colegio de Posgraduados.

COLPOS (2012). Sistema de Información Geográfica para la Instalación de un distrito de riego en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. Cartografía Digital.

Cortés, M. A. (2008). Poblaciones vulnerables frente a amenazas naturales. Caso de estudio, delegación La Magdalena Contreras, Ciudad de México, México, Tesis de posgrado, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México.

De la Peña, I. y F. A. Llerena, (2001). *Manual del uso y manejo del agua de riego*, Editorial Futura, México.

Díaz, R., L. C. Bravo, L. C. Alatorre y E. Sánchez, (2014). "Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México", *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, núm. 83, pp. 117-131.

García, A. K., L. A. Ojeda, G. Pérez, Y. Servín y L. C. Alatorre (2013). "Evaluación de las extracciones de agua subterránea por métodos indirectos en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua, México: aplicando la teledetección y SIG", *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, vol. 9, núm. 1, pp. 141-149.

García, A. (1993). "Asimilación económica del territorio (un nuevo enfoque en la interpretación regional del país)", *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Geografía, UNAM, pp. 116-130.

- Giner, R. A., L.C. Fierro y L. F. Negrete (2011). Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y la agricultura de temporal, SAGARPA, CONAZA, pp. 5-6.
- Gobierno del Estado (2011). "Programa sectorial Chihuahua vive con los menonitas", *Periódico Oficial*, núm. 101, pp. 84-104.
- INE (2000). Indicadores de Desarrollo Sustentable en México, INEGI, SEMARNAP, pp. 18-20.
- INEGI (2010). [<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=8>]: 20 de septiembre de 2014.
- Islas, P., A. Pérez y G. Hernández (2015). "Rol de enfermería en educación para la salud de los menonitas desde el interaccionismo simbólico", *Enfermería universitaria*, vol. 12, núm. 1, pp. 28-35.
- JCAS, (2014) [[http://www.jcaschihuahua.gob.mx/Contenido/plantilla5.asp?cve\\_canal=2112&Portal=Principal](http://www.jcaschihuahua.gob.mx/Contenido/plantilla5.asp?cve_canal=2112&Portal=Principal)]: 26 de septiembre de 2014.
- Juárez, M. (2000). "Los niveles de asimilación económica de la región costera de México", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, núm. 43, pp. 167-182.
- Mondragón, A. R. (2002). "¿Qué son los indicadores?", *Revista de Información y análisis*, núm. 19, pp. 52-58.
- Mora, H. y C. M. Jaramillo (2003). *Aproximación a la construcción de cartografía social a través de la geomática*, Centro de Investigaciones y Desarrollo, Facultad de Ingeniería, pp. 7-8.
- Morduchowicz, A. (2006). *Los indicadores educativos y las dimensiones que los integran*, UNESCO, IIPE, pp. 1-2.
- Nahón, C. (2001). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación social*, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, pp. 12-50.
- Naka, T. (2008). "Mennonite beliefs and occupations", *Ethnology*, vol. 47, núm. 4, pp. 271-289.

- Ochoa, R. y C. Ortega (2005). "Los menonitas de Chihuahua, la vocación agrícola de una comunidad", *Revista Claridades Agropecuarias*, núm. 137, pp. 3-20.
- Ortega, D. e I. Velasco (2013). "Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México", *Aqua-LAC*, Vol. 5, Núm. 2, pp. 78-90.
- Palacio, J. L., M. T. Sánchez, J. M. Casado, E. Propin, J. Delgado, A. Velázquez, L. Chías, M. L. Ortiz, J. González, G. Negrete, J. Gabriel y R. Márquez (2004). Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial, UNAM, SEDESOL, SEMARNAT, INE, pp. 23-48.
- Pérez, G. G. (2010). "Teoría social del riesgo y cartografía aplicada a la ciudad de Neuquén", *Boletín Geográfico*, núm. 32, pp. 115-124.
- PNDU (2006). *Informe sobre desarrollo humano 2006*. Estados Unidos. 440 p.
- Polanco, C., (2006), "Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones", *Gestión y Ambiente*, vol. 9, núm. 2, pp. 27-41.
- Ramsey III, E. W., G. A. Nelson and S. K. Sapkota (2001). "Coastal change analysis program implemented in Louisiana", *Journal of Coastal Research*, no. 17, pp. 53-71.
- Registro Agrario Nacional (2011). Tenencia de la Tierra en el Municipio de Cuauhtémoc (Cartografía Digital Inédita).
- Reyes, I. A., M. Reyes y H. D. Ruíz (2009). "Problemática del agua en Chihuahua: una propuesta", *Culcyt, Recursos Hídricos*, núm. 31, pp. 35-41.
- Sánchez, Á. y E. Propin (1999). "Validación medioambiental de los niveles de asimilación de la Rivera Mexicana: homogeneidad geográfica y heterogeneidad económica", *Observatorio medioambiental*, núm. 2, pp. 295-309.

Sauer, C. O. (2006). "La morfología del paisaje", *Polis. Revista Latinoamericana*, núm. 15.

Semarnat (2009). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Casas Grandes 1, Río Casas Grandes 2, Hacienda San Francisco-Juguete-Madero-Palomas, Laguna de Babicora, Río Santa María 1, Río Santa María 2, Laguna El Sabinal, Desierto de Samalayuca, Laguna La Vieja, Río del Carmen 1, Río del Carmen 2, Rancho El Cuarenta, Arroyo Roma, Félix U Gómez, Arroyo El Carrizo, Arroyo El Burro, Laguna de Tarabillas, Laguna El Cuervo, Laguna de Encinillas, Rancho Hormigas-El Diablo, Laguna de Bustillos y Laguna Los Mexicanos, mismas que forman parte de la Región Hidrológica número 34 denominada Cuencas Cerradas del Norte, México, p. 38.

Semarnat (2011). Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México, Gobierno Federal, SEMARNAT, pp. 8-12.

Valverde, M. I. y P. Ortiz (2010). *Evaluación financiera del cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego en el acuífero Cuauhtémoc*, Chihuahua, INIFAP, Chihuahua, 19pp.

Velasco, I., L. Ochoa y C. Gutiérrez (2005). "Sequía, un problema de perspectiva y gestión", *Región y sociedad*, vol. 17, núm. 34, pp. 35-71.

Wilhite, D. A. (2000). *Drought: A Global Assessment*, Routledge Publishers, 752pp.



# Predicción de áreas susceptibles a deforestación del suroeste de Chihuahua, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de regresión lineal múltiple

Héctor Obed Castro Beltrán  
Luis Carlos Bravo Peña  
María Elena Torres Olave  
Lara Cecilia Wiebe Quintana

## Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Sensoria Remota son herramientas de gran importancia y utilidad para la determinación de áreas susceptibles a deforestación. El estado de Chihuahua cuenta con una amplia extensión de áreas forestales, y a su vez, se caracteriza por actividades económicas como la agrícola y ganadería, por lo cual requiere de una gestión y monitoreo de los posibles cambios de uso de suelo que conlleven a los procesos de deforestación. El suroeste del estado es la zona donde se encuentra un alto dosel forestal y en la cual se desarrollan actividades de minería y de extracción de madera.

En el presente estudio se realiza una determinación de las zonas susceptibles a deforestación mediante un modelo de Regresión Lineal Múltiple a partir de variables socioeconómicas y ambientales relacionadas espacialmente con el área, cartografiando previamente las zonas que ya han sido perturbadas por actividades humanas.